

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Návrh technologie svařování parčího kotle

Welding Technology Proposal of the Steaming Boiler

Student:
Vedoucí diplomové práce:

Bc. Jiří Vystrčil
doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Vystrčil**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh technologie svařování pařícího kotle**
Welding Technology Proposal of the Steaming Boiler

Zásady pro vypracování:

1. Studie svařitelnosti austenitických ocelí
2. Studie svařitelnosti metody svařování 131, 135
3. Návrh technologie svařování kotle
4. Návrh a provedení kvalifikace postupu svařování
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


KOUKAL, Jaroslav; SCHWARZ, Drahomír; HAJDÍK Jiří. *Materiály a jejich svařitelnost*. Vyd. 1. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o., VŠB-Technická Univerzita, 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
KOUKAL, Jaroslav; ZMYDLENÝ, Tomáš. *Svařování I*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2005. 136 s. ISBN 80-248-0870-6.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.**


Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry





prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2011




.....
Bc. Jiří Vystrčil

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20.5.2011


.....
Bc. Jiří Vystrčil
Na Láně 1994, Uherský Brod

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VYSTRČIL, J. Návrh technologie svařování pařícího kotle. Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 50 s. Diplomová práce, vedoucí Schwarz, D.

Diplomová práce podává návod na svařování tlakových nádob z austenitických ocelí, zejména pak na způsob kvalifikace procesu svařování. V první části je proveden obecný rozbor austenitického materiálu z pohledu svařitelnosti a problémů vyskytujících se při svařování. Druhá část práce popisuje metodu svařování vhodnou pro daný typ materiálu. Je zde zahrnut vliv různých aspektů ovlivňujících proces svařování. V další části je proveden konkrétní rozbor základního a přídavného materiálu, díky němuž je zajištěna předpokládaná vhodnost materiálů pro svařování. Výsledkem provedení a vyhodnocení zkoušek je konečný svařovací protokol, který umožňuje vyrábět tlakovou nádobou schváleným postupem svařování.

ANNOTATION OF THESIS

VYSTRČIL, J. Welding Technology Proposal of the Steaming Boiler. Ostrava: Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2011, 50 p. Thesis, head: Schwarz, D.

This thesis provides guidance on the welding of pressure vessels made of austenitic steels, in particular the way of qualification of the welding process. In the first part of a general analysis is made of austenitic material from the viewpoint of weldability and problems encountered in welding. The second part describes a welding method suitable for the type of material. It also includes the effect of various aspects influencing the welding process. In another part of the analysis is performed more basic and auxiliary materials, enabling them to ensure the expected suitability of materials for welding. The result of the implementation and evaluation of welding tests, the final protocol, which allows the production of pressure vessel approved welding procedure.

OBSAH DIPLOMOVÉ PRÁCE

Úvod.....	9
1. Korozivzdorné oceli	10
1.1 Rozdělení korozivzdorných ocelí	10
1.2. Vliv prvků na strukturu oceli	12
2. Austenitické oceli	13
2.1. Faktory ovlivňující svařitelnost austenitických ocelí	14
2.2. Vznik teplých trhlin.....	14
2.3. Mezikrystalová koroze (MKK)	15
2.3.1. Teorie vzniku MKK	16
2.3.2. Vlivy určující vznik MKK	16
2.4. Fáze δ - sigma.....	17
2.5. Okolnosti zabránění vzniku MKK	18
3. Svařování metodami 135 a 131	19
3.1. Podstata svařování tavící se elektrodou.....	19
3.2. Základní charakteristika metod MIG/MAG	21
3.2.1. Základní schéma metody.....	21
3.2.2. Ochranné plyny	23
3.2.3. Parametry svařování	24
4. Základní předpoklady pro volbu základního a přídavného materiálu.....	26
4.1. Vlivy určující volbu materiálu	26
4.2. Charakteristika materiálu 1.4571	26
4.3. Volba přídavného materiálu	27
4.4. Rozbor svařitelnosti oceli 1.4571	27
4.4.1. Rozbor vzniku teplých trhlin základního a přídavného materiálu	28
5. Návrh technologie svařování.....	30
5.1. Typy svarů na pařícím kotli	30
5.2. Příprava svarových ploch	30
5.3. Svařovací zdroj, přídavný materiál, ochranný plyn	32
5.4. Vlastní provedení svařování PK.....	33
6. Návrh a provedení kvalifikace postupu svařování pařícího kotle	35
6.1. Kvalifikace a oprávnění výrobce – základní požadavky.....	35
6.2. Požadavky na svářeče.....	36

6.3. Příprava procesu schválení postupu svařování.....	36
6.4. Rozsah zkoušení zkušebních kusů	37
7. Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek.....	38
7.1. Vizuální kontrola (VT).....	38
7.2. Zkouška na povrchové trhliny, kapilární metoda (PT)	39
7.3. Radiografická zkouška	40
8. Vyhodnocení destruktivních zkoušek	42
8.1. Zkouška makrostruktury	42
8.2. Příčná zkouška tahem.....	43
8.3. Zkouška ohybem	44
9. Závěr.....	46
10. Literatura	48
11. Přílohy	51

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

Zkratka, symbol	Popis	Jednotka
Ar	Argon	[-]
CO ₂	Oxid uhličitý	[-]
ČSN	Česká státní norma	[-]
Cr _{ekv}	Ekvivalent chromu	[-]
EN	Evropská norma	[-]
FN	Feritové číslo	[%]
ΔH	Kriterium náchylnosti na vznik teplých trhlin	[-]
I	Proud	[A]
I _p	Impulsní proud	[A]
I _z	Základní svařovací proud	[A]
ISO	Mezinárodní norma	[-]
MAG	Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu	[-]
MIG	Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu	[-]
MKK	Mezikrystalová koroze	[-]
Mn	Mangan	[-]
Mo	Molybden	[-]
Ni	Nikl	[-]
Ni _{ekv}	Ekvivalent niklu	[-]
PK	Pařící kotel	[-]
Ti	Titan	[-]
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	[-]
U	Napětí	[V]
WIG	Obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu	[-]
WPQR	Kvalifikace postupu svařování	[-]
WPS	Specifikace postupu svařování	[-]
δ	Delta ferit	[-]
σ	Sigma fáze	[-]

Úvod

Pařicí kotel je zařízení sloužící k hydro-termické úpravě dřeva. Prostřednictvím této úpravy se dosahuje zlepšení mechanických vlastností dřeva, změny barevných odstínů a homogenizace dřeva (uvolnění růstových napětí a sterilizace dřeva).[6]

Princip metody spočívá v ohřevu dřeva sytou vodní párou o teplotě 100 – 130 °C při vyšším tlaku. Působení vyššího tlaku je však možné pouze v tlakových nádobách. Použitím autoklávů se výrazně snížil čas paření a současně se rozšířili možnosti cílevědomě modifikovat výše uvedené vlastnosti dřeva. Cyklus paření dřeva se může přirovnat např. k tepelným zpracováním ocelí jako je žíhání. Paření probíhá v po sobě jdoucích teplotních cyklech, kterými jsou ohřev na danou teplotu, výdrž na teplotě a postupné ochlazování.

V rámci procesu paření dřeva dochází ke vzniku kondenzátu. Tento kondenzát je červeno-hnědé až černé barvy a charakteristického zápachu. Kondenzát vzniknuvší např. z paření buku obsahuje organické kyseliny a hydrolýzou odbourané cukry. Z organických kyselin je to zejména kyselina octová, v menším množství kyselina mravenčí, propionová, vanilová, siringová a jiné. Chemické složení kondenzátu tedy závisí na druhu pařené suroviny. Kondenzát se po skončení paření neutralizuje vápenatým roztokem.[6]

Nejvhodnějším prostředkem pro uskutečnění technologického procesu paření je tedy použití autoklávu – tlakové nádoby. Z důvodu použití páry a vzniku chemického kondenzátu je autokláv vyroben z koroziivzdorné oceli. Volba materiálu je ovlivněna mnoha aspekty. Mezi ty nejdůležitější řadíme odolnost proti působení chemických látek a dále dobrou svařitelnost.

Autokláv, jehož návrh svařování je předmětem této diplomové práce, je vyroben z koroziivzdorné austenitické oceli typu X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571), která velmi dobře odolává koroznímu prostředí způsobenému právě pařením dřeva a disponuje dobrou svařitelností. Jelikož se jedná o ocel stabilizovanou titanem, není náchylná ani na mezikrystalovou korozi.

Ve své práci nejprve zpracuji studii svařitelnosti zvolené oceli a poté studii samotné svařovací metody. Praktickou část budu věnovat návrhu technologie svařování autoklávu a průběhu schvalovacího mechanismu postupu svařování tlakové nádoby dle příslušných norem s vyhodnocením dílčích výsledků jednotlivých vzorků.

1. Korozivzdorné oceli

Korozivzdorné oceli řadíme mezi vysokolegované oceli, protože více jak 10 % hm. celkového obsahu tvoří legující prvky. Jejich použití nachází uplatnění v celé škále průmyslových odvětví, zejména pak v chemickém, potravinářském a energetickém průmyslu.

Použitím těchto ocelí dochází ke zlepšení vlastností:

- korozních
- žáruvzdorných
- žárovevných
- odolnosti proti opotřebení
- vlastností za nízkých teplot

Koroze kovů je chemická nebo elektrochemická reakce na povrchu materiálu, při které kov přechází v tzv. okysličený stav. Tomuto ději však podléhají všechny materiály, tedy nejenom kovy a jejich slitiny, ale také plasty, keramické a sklovité hmoty a další materiály. Většina kovů a slitin je nestálá a samovolně přechází do okysličeného stavu. Výsledkem pokračování oxidace kovu je pak částečné nebo úplné rozrušení materiálu.

Velmi dobrá korozní odolnost korozivzdorných ocelí je dána především schopností oceli přejít do tzv. pasivního stavu (pasivita). Jestliže budeme uvažovat mechanismus elektrochemické koroze, je pasivita definována jako stav korozní odolnosti způsobený zpomalením anodového děje. Jde o vytvoření jakési ochranné vrstvy na povrchu kovu, (obvykle jde o stálé oxidy), která je velmi vítaným jevem, protože způsobuje zpomalení korozního děje v oxidačním prostředí.[2]

Tato ochranná vrstva je tvořena vysokým obsahem chromu v tuhém roztoku, tj. více jak 12 % hm. Použitím dalších přísad lze dosáhnout u ocelí různých vlastností a taktéž dobré korozní odolnosti dokonce i v aktivním stavu.

1.1 Rozdělení korozivzdorných ocelí

Oceli se dělí podle své struktury na:

- martenzitické
- feritické
- austenitické

- duplexní
 - feriticko austenitické
 - martenziticko austenitické
 - martenziticko feritické

Dále oceli dělíme podle chemického složení na:

- chromové
- chromniklové
- chromnikl molybdenové
- chromomanganové

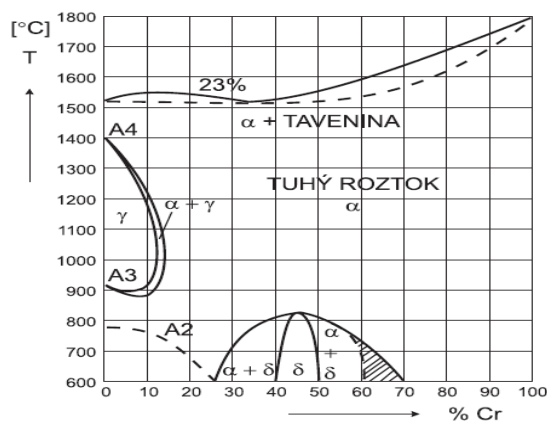
Skupina ocelí	Označení		Charakteristika
	ČSN EN 10027-1	ČSN EN 10027-2	
Feritické	X6CR13	1.4000	Hlavním leg. prvkem je chrom. Max. 0,08 % C. Nekalitelné. Magnetické.
	X6CR17	1.4016	
	X3CrTi17	1.4510	
	X6CrMo 17-1	1.4113	
Martenzitické	X12Cr13	1.4006	Obsah C 0,08-1% i výše. Lze kalit. Kalitelné oceli jsou feromagnetické. Omezeně svařitelné do obsahu C 0,20%.
	X20Cr13	1.4021	
	X30Cr13	1.4031	
	X17CrNi 17-2	1.4057	
Austenitické	X5CrNi 18-10	1.4301	Struktura převážně austenitická. Nepodléhají fázovým přeměnám. Nemagnetické. Velmi dobře svařitelné. Houževnaté i za nízkých teplot.
	X2CrNi 19-11	1.4311	
	X6CrNiTi 18-10	1.4541	
	X2CrNiMo 17-12-2	1.4401	
	X6CrNiMoTi17-15-2	1.4571	
	X6CrNiNb 18-10	1.4550	

Tab. 1 Vybrané typy korozivzdorných ocelí

1.2. Vliv prvků na strukturu oceli

I když jsou zejména chrom, nikl, mangan, molybden a další slitinové prvky v korozivzdorných ocelích poměrně zastoupeny ve větším množství, základním prvkem i přesto stále zůstává železo a jeho slitiny s uhlíkem.

Strukturu oceli je možné určit z diagramu Fe – Cr (Obr. 1).



Obr. 1 Rovnovážný diagram Fe – Cr

Výsledná struktura korozivzdorné oceli je ovlivněna obsahem chromu. U vyššího obsahu chromu slitina při chladnutí nepřekrystalizuje a struktura tedy zůstává feritická s uhlíkem vyloučeným ve formě karbidů. Jestliže má ocel obsah chromu menší jak 12 %, je tato ocel samokalitelná. Za normálních podmínek se austenit transformuje na martenzit. Zvýšeným obsahem, zvláště niklu, lze docílit jen austenitickou strukturu. Nikl je vedle chromu druhým nejdůležitějším prvkem korozivzdorných ocelí a velkou mírou také přispívá ke korozivzdornosti ocelí.[22]

Vlivy důležitých prvků na výslednou strukturu lze rozdělit následovně:

- prvky, které rozšiřují oblast austenitu – Ni, C, Cu, Mn, N
- prvky, které rozšiřují oblast feritu – Cr, Si, Mo, W, Ti, Nb, V, Al

Vlivy jednotlivých prvků jsou vyjádřeny tzv. ekvivalenty chromu Cr_{ekv} a niklu Ni_{ekv} . Pro odhady výsledné struktury Cr-Ni ocelí se používají diagramy – Schaefflerův a De longův digram.[1]

2. Austenitické oceli

Pro zajištění dokonalé ochrany proti korozi vzhledem k danému prostředí, ve kterém bude pařící kotel pracovat, je tedy vhodné pro jeho výrobu zvolit austenitickou korozivzdornou ocel.

Austenitické korozivzdorné oceli jsou zařazeny do skupiny 8 podle CR ISO 15 608 a jsou rozděleny do tří podskupin:

- 8.1. oceli s obsahem chromu $\leq 19\%$
- 8.2. oceli s obsahem chromu $\geq 19\%$
- 8.3. manganové austenitické oceli s obsahem $4 < \text{Mn} \leq 12\%$

Neméně důležitým legujícím prvkem je nikl, který přispívá k lepší odolnosti materiálu proti korozi v daném prostředí a má za následek vytvoření austenitické struktury oceli. Tuto strukturu podporují také uhlík a mangan. Pro zlepšení korozních vlastností lze do ocelí přidávat v určitém množství také molybden, křemík, titan niob, či měď.

Typickou vlastností austenitických ocelí je jejich paramagnetický charakter, který závisí na obsahu feritu. Fyzikální vlastnosti jsou ovlivněny vlastnostmi austenitu a jeho plošně středěnou mřížkou:

- hustota $7,85 - 8 \text{ kg / m}^3$,
- tepelná roztažnost je asi o 50 % větší než u uhlíkových ocelí,
- tepelná vodivost je asi o 1/3 nižší než u feritických ocelí,
- elektrická vodivost je nižší než u chromových ocelí.

Z mechanických vlastností je pro zmíněnou ocel charakteristický nízký poměr meze kluzu k pevnosti (R_e/R_m). Austenitické oceli tvářené za studena se mohou značně zpevňovat (tváření je možné jen do určitého stupně, neboť při vyšším stupni tváření se může tvořit martenzitická struktura).

Dále je pro tyto oceli typická dobrá tvárnost, velká tažnost a vrubová houževnatost (i při nízkých teplotách).

Austenitické oceli lze svařovat běžně dostupnými svařovacími metodami. Svarové plochy je možno připravovat stejně jako u uhlíkových ocelí. Nepoužívá se však přehřev. Vzhledem k dobré tvárnosti a houževnatosti nejsou austenitické oceli náchylné na výskyt studených trhlin.

2.1. Faktory ovlivňující svařitelnost austenitických ocelí

Svařitelnost austenitický ocelí nejvíce ovlivňují tyto tři faktory [1]:

- náchylnost ke vzniku teplých trhlin
- vznik mezikrystalové koroze
- vznik fáze σ (sigma)

2.2. Vznik teplých trhlin

Austenitická ocel je náchylná na teplé krystalizační trhliny, které vznikají při tuhnutí svarového kovu okolo teploty solidu. Pro vznik tohoto typu trhliny je nejčastější příčinou obsah síry ve svarovém kovu, která tvoří nízkotavitelné fáze neschopné přenášet tahová napětí vznikající při krystalizaci kovu. Smrštěním během ochlazování svarového kovu se mohou vrstvy taveniny roztrhnout a tím vznikne trhlina. Krystalizační trhliny se vyskytují nejčastěji ve svarovém kovu, konkrétně v ose svaru, který tuhne jako poslední.

Vznik teplých trhlin nejvíce ovlivňují následující prvky, které jsou obsaženy v oceli: P, S, Si, Ti, Nb. Eliminaci působení škodlivých prvků je možné provést buď výrazným snížením jejich obsahu v oceli, nebo přidáním jiného prvku, který může zamezit těmto škodlivým vlivům.[1]

Značný vliv na vznik teplých trhlin má také způsob krystalizace kovu. Krystalizace u austenitických ocelí může být feritická, austenitická nebo kombinace obou. Prospěšnou pro snížení náchylnosti na vznik teplých trhlin je feritická krystalizace. Z toho důvodu se doporučuje, aby obsah δ -feritu v oceli byl 3 – 15 FN (feritové číslo – obsah feritu v % ve struktuře). Vyšší obsahy vedou ke snížení korozní odolnosti a vzniku nežádoucí σ -fáze. Feritové číslo základního materiálu a svarového kovu lze určit pomocí Schaefflerova a De Longova diagramu. Náchylnost oceli k teplým trhlínám lze také zkontrolovat podle vzorce – $\Delta H = -770 C + 17 Cr - 37 Ni + 29 Mo + 188$. Pokud je $\Delta H < 100$ je ocel náchylná na vznik teplých trhlin.

Okolnosti zabraňující vzniku teplých trhlin:[9]

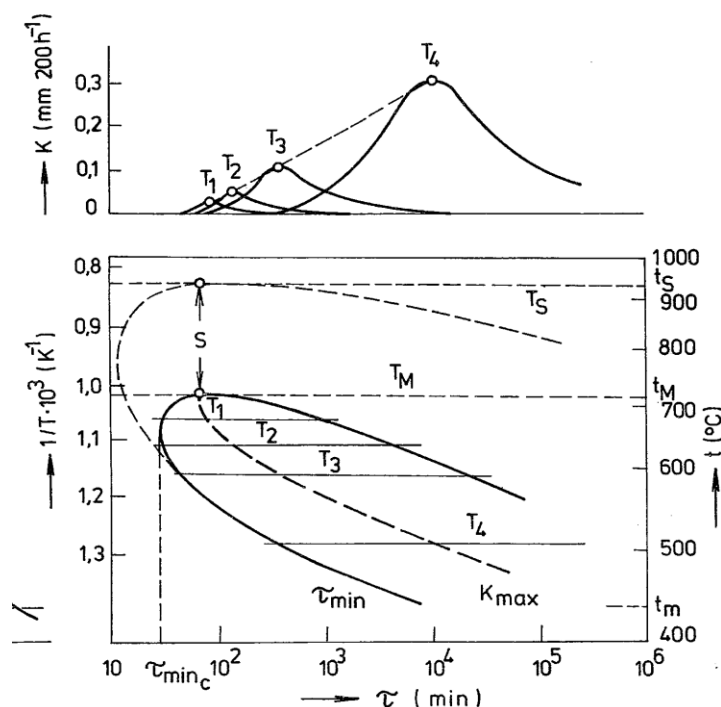
- obsah δ -feritu ve struktuře 3-15 FN
- snížení rychlosti svařování
- snížení teploty Interpass (max. 150°C)
- použití nízkého tepelného příkonu při svařování

- snížení tuhosti upnutí spoje
- poměr šířky a výšky svarové lázně přibližně 1 – 1,5

2.3. Mezikrystalová koroze (MKK)

Vznik a výskyt mezikrystalové koroze je nejčastěji spjat s výrobky svařovanými, neboť ve svarových spojích se vyskytují pásma, při nichž je zahřátá ocel náchylná na vznik MKK. Vznik MKK může být také důsledkem strukturních změn při nevhodném tepelném zpracování oceli. Je to dáno především specifickými hodnotami teplot a dobami výdrže na těchto teplotách. Nejčastějším výsledkem působení těchto jevů je precipitace (vylučování) karbidů (nitridů) chromu na rozhraní zrn. Vylučování nitridů a karbidů chromu je závislé na teplotě, při které dochází k rozpustnosti uhlíku a dusíku v austenitu nebo ve feritu. Nejvíce citlivá na vznik těchto karbidů je austenitická ocel v rozmezí teplot 500-850°C nebo při delším působení teploty 400°C.

Ke zjištění citlivosti oceli na vznik MKK může být nápomocen tzv. Rollasonův diagram. Jde o vyjádření tzv. C-křivky a to ze závislosti velikosti teploty a časová výdrže teploty. Rychlost MKK je tedy závislá na době ohřevu a také na teplotě.



Obr. 2 Rollasonova „C“ křivka ohraničující oblast mezikrystalové koroze oceli 05Cr18Ni9 odvozené ze závislosti průniku MKK při působení daných teplot [2]

2.3.1. Teorie vzniku MKK

a) *Teorie ochuzení* – tato teorie je vysvětlena jako snížení obsahu chromu v okolí vylučujících se karbidů a nitridů chromu v okolí hranic zrn. Uhlík a dusík je intersticiálně rozpuštěný v tuhém roztoku. Jejich difuze k hranicím zrn probíhá rychleji než-li difuze chromu. To má za následek, že chrom se v prvním stadiu spotřebovává z hranic zrn a díky tomu dochází k poklesu chromu v povrchové vrstvě zrna. Mezi precipitáty vznikají místa ochuzená o chrom a dochází ke snížení schopnosti pasivace zrna. Pokud klesne podíl chromu pod hranici 12 %, ocel je již náchylná ke krystalové korozi.[2]

b) *Teorie pnutí* – její vysvětlení je definováno jako vznik velkých vnitřních pnutí tam, kde začíná a postupně roste druhá fáze (na hranicích zrn). Příčinou toho jsou pak v oceli velké energetické rozdíly, které se projevují nižší polarizací anodového děje a dále v nedokonalé pasivaci hranic zrn.[2]

c) *Teorie mikročlánků* – při této teorii je vzata myšlenka, že ušlechtilější karbid působí jako katoda a okolní kov, který je méně ušlechtilý, působí jako anoda. U hranice karbid – základní kov vzniká místní článek, kde okolí karbidu podléhá korozi, i když je ocel podstoupena rozpouštěcímu žíhání.

2.3.2. Vlivy určující vznik MKK

a) *Vliv chemického složení*

MKK souvisí převážně s vylučováním karbidů chromu na hranicích zrn. Tuto skutečnost potvrzuje vliv chemického složení ocelí převážně jejich obsahy. Vlivy jednotlivých prvků lze stručně charakterizovat takto:

- uhlík – se snížením obsahu uhlíku pod hranici 0,03 hm. % vznik MKK nenastává
- chrom – zvyšuje odolnost proti korozi
- nikl – stabilizuje strukturu, zvyšuje odolnost proti korozi, zvýšený obsah niklu může vést k tomu, že zvyšuje účinný obsah uhlíku, než je obsah skutečný
- molybden, měď – zvyšují odolnost proti MKK, ale zvýšený obsah může vést ke zhoršení plastických vlastností
- stabilizační prvky - titan, niob, tantal – zvýšení odolnosti proti MKK

b) Vliv velikosti zrna

Při ohřevu oceli na kritické teploty může v austenitické oceli dojít k růstu zrn. To má za následek snížení povrchu mezikrystalové hmoty, a proto v závislosti na obsahu chromu a uhlíku dochází ke snadnější tvorbě chromových karbidů.

c) Vliv tváření za studena

Ocel je náchylnější k MKK při menším stupni přetvoření (5 - 15 % deformace), kdežto při vyšších stupních deformace je austenitická ocel odolnější vůči vzniku MKK.

Z dalších činitelů je možné zmínit např. vliv napětí nebo u ocelí používaných v atomových elektrárnách vliv radioaktivního záření.[2]

2.4. Fáze δ - sigma

Fáze δ je jedním z dalších činitelů, kteří podporují náchylnost austenitických ocelí k MKK. Tato fáze je taktéž vylučována na hranicích zrn. Podle obr. 1 je možné odečíst od jakých obsahů a za jakých působících teplot tato fáze vzniká. Její vylučování je zřejmé v rozmezí teplot 500-800 °C. U obsahu chromu 26-41 a 50-70 hm. % se fáze sigma vyskytuje společně s fází α (alfa). Prvky jako Mo, Si, Ni a Mn posunují hranici tvorby sigma fáze v systému Fe-Cr k nižším obsahům Cr. Mechanické zpracování za studena urychluje tvorbu fáze sigma. [15]

Z hlediska mechanických vlastností je výskyt fáze σ v oceli nežádoucí tím, že způsobuje zkřehnutí oceli. Vyloučením sigma fáze dochází tedy ke zvýšení meze kluzu, pevnosti, křehkosti a tvrdosti a ke snížení tažnosti a kontrakce. Tyto vlastnosti se projevují tím výrazněji, kolik se sigma fáze vyloučilo.

Vzhledem k tomu, že sigma fáze má velký obsah chromu, tak je schopna pasivace (jen v pasivním stavu), ale pouze do té doby, kdy se již začnou tvořit počáteční zárodky této fáze, které vyvolávají změny v okolí vzniku (podobně jako u vylučování karbidů chromu).

U většiny slitin Fe-Cr je ke vzniku sigma fáze potřeba řádově stovek hodin, proto svařování neposkytuje dostatek doby pro její tvorbu.[15]

2.5. Okolnosti zabránění vzniku MKK

a) Snížení obsahu uhlíku

Vznik MKK je velmi závislý na obsahu uhlíku. Díky němu se vylučují nežádoucí karbidy chromu Cr_{23}C_6 . V dnešní době je již běžně vyráběna ocel s obsahem uhlíku okolo 0,02 %. I když snížíme obsah uhlíku na tuto hodnotu, tak oceli mohou být náchylné na MKK zejména při použití za zvýšených teplot. Úplné zamezení vzniku MKK je možné jen tehdy, jestliže obsah uhlíku klesne pod hranici rozpustnosti v tuhém roztoku při kritické teplotě.

b) Vliv stabilizačních prvků na stabilizaci uhlíku

Princip dosud nejběžnější metody omezení výskytu MKK spočívá v legování korozivzdorných ocelí prvky, které mají větší afinitu k uhlíku než chrom (Ti, Nb, Ta, W, V, Zr). Pro stabilizaci ocelí se nejvíce používají titan, tantal a niob. Tyto prvky přednostně tvoří karbidy jako TiC, NbC, TaC, které neumožní vznik karbidů chromu. Doporučené legování těchto prvků vypadá v závislosti na obsahu uhlíku takto:[1]

$$\frac{\text{Nb}}{\text{C}} \geq \frac{\text{Ti}}{\text{C}} \geq \frac{\text{Ta}}{\text{C}} \geq 6$$

c) Tepelné zpracování

Rozpouštěcím žíháním (za teplot okolo 1050°C) dochází k rozpuštění vyprecipitovaného karbidu chromu a následným rychlým ochlazením (vodní sprcha) nedojde k opětovnému vzniku karbidů chromu.

Zlepšení odolnosti proti MKK je u stabilizovaných ocelí provedeno stabilizačním žíháním. Tepelné zpracování probíhá při teplotách 850-900 °C po dobu 2-4 hodin. Zlepšení odolnosti proti MKK příznivě podporuje dvojí tepelné zpracování při teplotách +1050 a + 870 °C.

3. Svařování metodami 135 a 131

Výše uvedené metody řadíme mezi metody tavného svařování, kde energie pro získání ohřevu materiálu na svařovací teploty je získávána elektrickým obloukem. Ochrana svarové lázně před účinky okolní atmosféry je provedena pomocí ochranných plynů. Základní popis jednotlivých metod je podle ČSN ISO 857:

- MIG – obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (metal inert gas) – argon, helium
- MAG – obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (metal active gas) – CO_2 , $\text{Ar} + \text{CO}_2$, $\text{Ar} + \text{O}_2$, $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ aj.

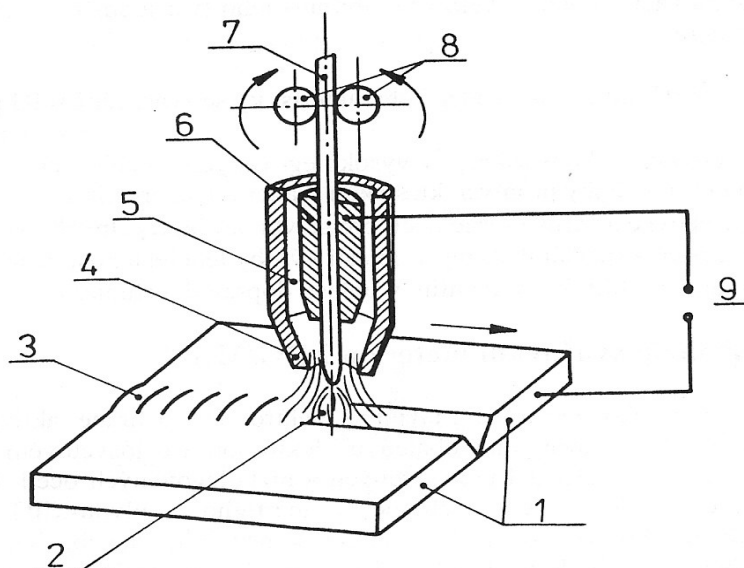
Z výše uvedeného je vidět rozdíl metod jen v typu ochranné atmosféry. Metodu MAG využíváme jako jednu z nejvíce používaných ve světovém měřítku především pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Metoda MIG se uplatní tam, kde jsou konstrukce vyrobené z vysoce legovaných materiálů a zejména pak pro svařování hliníku.

Mezi důvody, pro které jsou tyto metody velmi rozšířené, patří :

- velký sortiment přídavných materiálů a ochranných plynů,
- dobrá schopnost metody mechanizovat a robotizovat,
- široký sortiment svařovacích zařízení.

3.1. Podstata svařování tavící se elektrodou

Při svařování metodou MIG/MAG hoří oblouk mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem v ochranné atmosféře inertního (MIG) nebo aktivního plynu (MAG). Posuv drátu při svařování je řešen pomocí podávacích kladek umístěných v podávacím zařízení. Dále se můžeme výhradně setkat s použitím stejnosměrného napětí, kde na elektrodu (drát) je přiveden + pól a na svařovaný materiál - pól. Toto zapojení se označuje jako nepřímá polarita.



Obr. 3 Obloukové svařování v ochranné atmosféře [23]
 1-Základní materiál, 2-Elektrický oblouk, 3-Svar, 4-Plynová hubice, 5-Ochranný plyn,
 6-Kontaktní průvlak, 7-Přídavný drát, 8-Podávací kladky, 9-Zdroj proudu

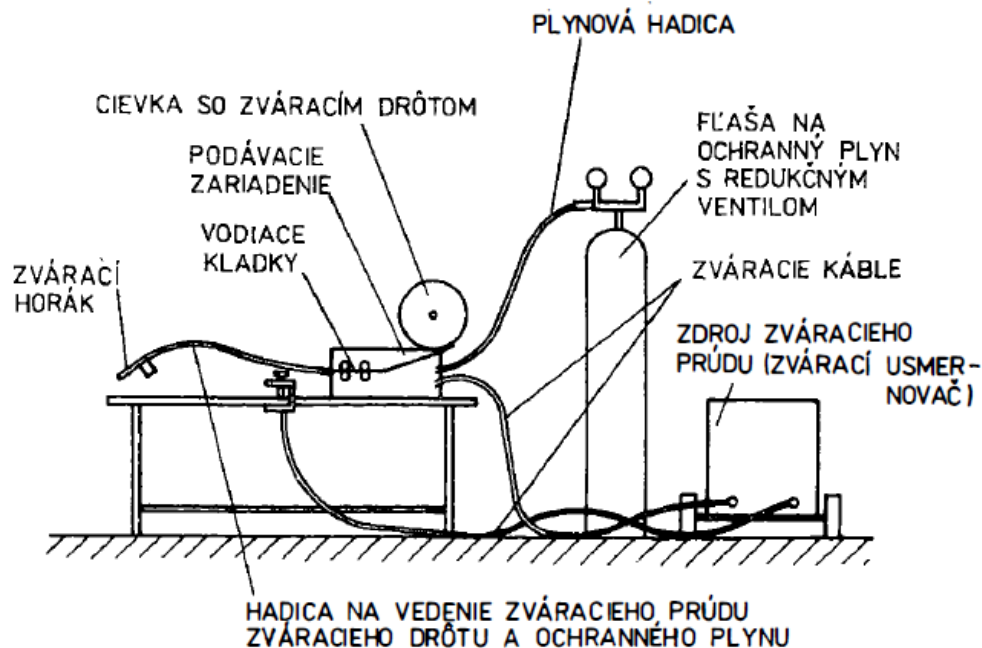
Mezi výhody, které tato metoda přináší, můžeme zařadit:

- svařování ve všech polohách od tloušťky materiálu 0,8 mm,
- minimální tvorba strusky,
- vizuální kontrola oblouku a svarové lázně,
- snadný start oblouku bez nárazu svařovacího drátu do svařence,
- velmi dobrý profil svaru a hluboký závar,
- malá tepelně ovlivněná oblast především u vysokých rychlostí svařování,
- vysoká proudová hustota,
- vysoký výkon odtavení,
- široký proudový rozsah pro jeden průměr drátu,
- stabilní plynová ochrana v různých variantách umožňující různé typy přenosu kovu v oblouku,
- nízká pórovitost,
- malý nebo žádný rozstřík kovu elektrody,
- snadná aplikace metody u robotizovaných a mechanizovaných systémů svařování.

3.2. Základní charakteristika metod MIG/MAG

3.2.1. Základní schéma metody

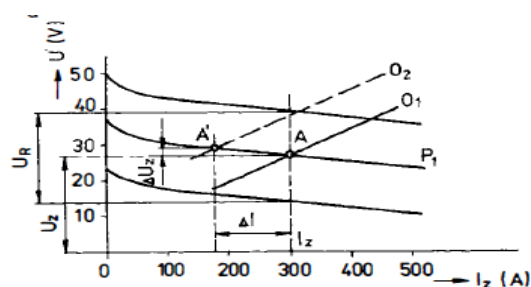
Svařování pomocí metod MIG/MAG je charakteristické tím, že tzv. svařovací souprava obsahuje několik částí podporujících svařování, jak je vidět na Obr. 4.



Obr. 4 Schéma svařovacího zařízení [7]

Svařovací zdroj

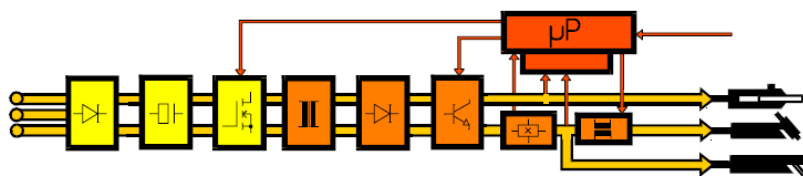
Pro svařování postupem MIG/MAG se používají zásadně zdroje stejnosměrného proudu, přičemž kladný pól je přiveden na drátovou elektrodu a záporný pól je připojen na základní materiál. Zdroje pro svařování MIG/MAG mají plochou statickou charakteristiku (Obr. 5) s tzv. konstantním napětím se samoregulační schopností udržování konstantní délky oblouku. Tato regulace je založena na výrazné změně proudu při relativně malé změně délky oblouku a tím i napětí na oblouku. Tento princip regulace délky oblouku je možný jen při konstantní rychlosti podávání drátu. Při změně délky oblouku se změní napětí a dle pohybu pracovního bodu na statické charakteristice se mění proud. Při dlouhém oblouku se sníží proud i rychlost odtavování elektrody a při konstantní rychlosti podávání drátu se začne drát přibližovat ke svarové lázni a oblouk se tím zkrátí. Kdežto při krátkém oblouku a poklesu napětí se zvyšuje intenzita proudu a odtavování je rychlejší.



Obr. 5 Plochá statická charakteristika zdroje [7]

(U_R -regulační rozsah svářečky, U_Z -hodnota svařovacího napětí, I_Z -svařovací proud, ΔI -rozsah kolísání svařovacího proudu, ΔU_Z -rozsah napětí oblouku při svařování, P_1 -pracovní statická charakteristika svářečky, O_1 -charakteristika svařovacího oblouku v pracovním bodě A, O_2 -charakteristika svařovacího oblouku v pracovním bodě A', po oddělení kapky kovu)

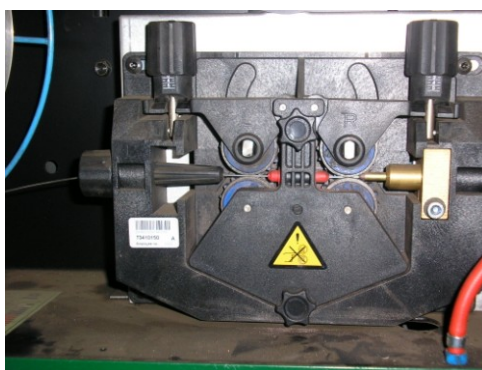
Moderní svařovací zdroje mohou pracovat s využitím řídicí elektroniky, která velmi účinně udržuje svařovací proud a napětí na konstantní úrovni, nezávisle na změnách síťového napětí a např. délce svařovacích kabelů. Ve svařovacím zdroji je zabudován procesor, který v reálném čase porovnává hodnoty nastavené s hodnotami aktuálního svařovacího procesu a zjištěné odchylky prostřednictvím ovládacího členu okamžitě vyrovnává. Tyto zdroje nejčastěji označujeme jako invertorové svařovací zdroje.



Obr. 6 Blokové schéma invertorového svařovacího zdroje

Podávací zařízení

Přídavný materiál ve formě drátu (navinut na cívce) je nepřetržitě podáván do svařovacího hořáku. Posuv drátu je realizován jednokladkovým, dvoukladkovým, nebo čtyřkladkovým podavačem.



Obr. 7 Čtyř-kladkový podavač

Svařovací hořák

Zajišťuje přívod drátu do místa svařování, napájení drátu proudem a také přívod ochranného plynu. Všechny hořáky jsou vybaveny tvarovou trubicí, na jejímž konci je umístěn kontaktní průvlak pro napájení drátu proudem, vyústění trubky pro přívod ochranného plynu a plynová tryska.



Obr. 8 Svařovací hořák

3.2.2. Ochranné plyny

Ochranné plyny především zajišťují ochranu svarové lázně před kontaktem s okolní atmosférou, zejména se vzdušným kyslíkem. U metody MIG/MAG je řešení provedeno přívodem ochranného plynu do místa svařování pod mírným přetlakem, nebo při použití plněného trubičkového drátu ochranná atmosféra vzniká až po roztavení vnitřní náplně drátu. Jednotlivé druhy plynů nebo jejich směsi příznivě ovlivňují tyto parametry:

- rychlost svařování
- hloubku závaru
- přenos kovu v oblouku
- stabilitu oblouku
- velikost rozstříku
- metalurgické děje
- hladkost povrchu svaru a jeho přechod na základní materiál

Metoda MIG/MAG využívá plyny Ar, He, CO₂ a jejich směsi. Rozdělení jednotlivých druhů plynů v závislosti na jejich obsahu rozlišuje ČSN EN ISO 14175.

Vlivy působících plynů na svařování popisuje Tab. 2.

Ochranný plyn	Zloženie	Napätie oblúka	Stabilita oblúka	Prenos kovu	Reaktivita	Tvar zvarovej zóny	Materiály a procesy	Poznámky
Plynný argón	99,995 % Ar	nízke	dobrá	pomerne dobrý	nijaká	oválny	MIG alebo WIG, použitie na všetky kovy	zváraním WIG všetky materiály; zváraním MIG neferozné materiály
Argón + kyslík (1 až 5 %)	Ar + 2 % O ₂ prípadne Ar + 1 % O ₂ Ar + 5 % O ₂	nízke	dobrá	dobrý	oxidačná	oválny	MIG, iba pre nehrdzavejúce, nízkolegované a nízkouhlíkové ocele	znižuje hĺbku prievaru a zlepšuje tvar zvarového kúpeľa
Argón + CO ₂ 5 až 20 %	Ar + 5 % CO ₂ Ar + 20 % CO ₂	nízke, stredné	dobrá	dobrý	slabo oxidačná	hlboko šošovkovitý	MIG, všetky nízkouhlíkové a nízkolegované ocele	Ar + 5 % CO ₂ najvhodnejší pre pulzačný oblúk MIG; zmes 5 % CO ₂ sa môže použiť pre nerezov
Ar + CO ₂ + O ₂	Ar + 20 % CO ₂ + 5 % O ₂	stredné	dobrá	dobrý	oxidačná	hlboko šošovkovitý	MIG, iba nízkouhlíkové a nízkolegované ocele	zmes pôvodne určená na získanie optimálneho zvarového kúpeľa; výhody oproti Ar + CO ₂ nemá
Ar + H ₂	Ar + 5 % H ₂ príležitostne až do 15 % H ₂	stredné	dobrá	nijaký	redukčná; pri H ₂ nad 5 % môže spôsobiť pórovitosť	hlboký	WIG, pre nehrdzavejúce ocele, nikel, zliatiny Ni	pórovitosť sa znižuje pridaním Ni a zliatiny Ni

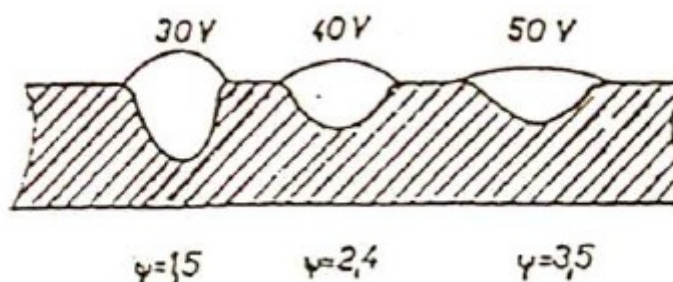
Ochranný plyn	Zloženie	Napätie oblúka	Stabilita oblúka	Prenos kovu	Reaktivita	Tvar zvarovej zóny	Materiály a procesy	Poznámky
Ar + He	zmes dosahuje až 75 % He a 25 % Ar	stredné	dobrá	dobrý	nijaká	hlboko šošovkovitý	WIG alebo MIG, v USA sa často dáva prednosť zliat. hliníka	vyšší tepelný príkon ako pri čistom Ar
CO ₂	99,9 % CO ₂	stredné alebo vysoké	dobrá	dobrý (slabý rozstrek)	obvykle oxidačná	hlboko šošovkovitý	iba pre MIG, použitie pre nízkouhlíkové ocele	lacné a vyhovujúce pre spŕškový alebo zmáčavý proces MIG
CO ₂ + O ₂	CO ₂ + O ₂ až do 20 %	vysoké	pomerne zlá	pomerne dobrý	vysoko oxidačná	hlboko šošovkovitý	iba pre MIG; použitie pre nízkouhlíkové ocele	vyžaduje drôt s vysokými dezoxidačnými vlastnosťami; používa sa iba v Japonsku
N ₂	99,9 % N ₂	vysoké	zlá	zlý (pórovitý)	spôsobuje vznik nitridov v oceli	šošovkovitý	WIG alebo MIG; použitie pri medí a niektorých jej zliatinách	vysoký tepelný príkon – znižuje potrebu predhrievania
N ₂ + Ar	Ar + 15 % N ₂	vysoké	pomerne zlá	pomerne zlý (pórovitosť)	spôsobuje vznik nitridov v oceli	šošovkovitý	WIG a MIG; použitie pri medí a niektorých jej zliatinách	vysoký tepelný príkon – znižuje potrebu predhrievania

Tab. 2 Plyny a jejich směsi působící na svařování [7]

3.2.3. Parametry svařování

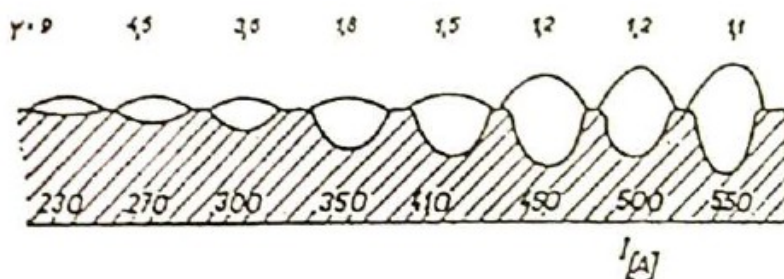
Parametry svařování rozumíme svařovací proud, napětí a svařovací rychlost. Tyto parametry účinně ovlivňujú tvar a rozmery svarů a jsou důležité pro výpočet tepelného příkonu. Jednotlivé parametry lze charakterizovat takto:

- *svařovací napětí* – má velký vliv na šířku svarové housenky. Zvýšená hodnota napětí zvětšuje délku oblouku, propal prvků, náchylnost na pórovitosť a zvyšuje rozstřík. Svarová lázeň je široká a mělká.[24] Nízké napětí způsobuje úzké housenky s vysokým převýšením. Nedochozí k natavení hran svarového spoje a vznikají studené spoje.



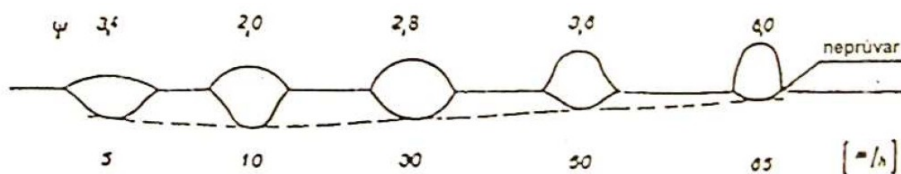
Obr. 9 Vliv napětí na tvar svaru

- *svařovací proud* – má největší vliv na průběh svařování. Zvyšováním proudu dochází k růstu proudové hustoty, velikosti a tekutosti svarové lázně a také odtavovacího výkonu. Velikost proudu účinně ovlivňuje hloubku závaru.



Obr. 10 Vliv svařovacího proudu na změnu tvaru

- *rychlost svařování* – má také vliv na tvar svarové housenky a především na hloubku závaru. Jestliže bude proud a napětí při svařování konstantní, dochází vlivem změny rychlosti ke změně vneseného tepla do svaru. Vysoká rychlost svařování má za následek nedostatečné provaření základního materiálu a vznikají neprůvary na krajích svarové housenky.



Obr. 11 Vliv rychlosti svařování na tvar svarové housenky

4. Základní předpoklady pro volbu základního a přídatného materiálu

4.1. Vlivy určující volbu materiálu

Paření dřeva probíhá v tlakové nádobě o rozměrech Ø 2,3 m a délka 12 m. Úprava dřeva je prováděna v prostředí syté páry o teplotě 130 °C a vnitřního tlaku přibližně 3 bary. Teplota, vlhkost, ale především vznik kondenzátu obsahující chemické látky, vede ke zvýšení náchylnosti materiálu ke vzniku koroze a tedy ke snížení tloušťky materiálu. Abychom se vyvarovali těchto nepříznivých účinků, je nutné zvolit takový materiál, který bude odolávat danému prostředí. Na základě odborné literatury a konzultací je zvolen základní materiál pro výrobu pařícího kotle, a to austenitická korozivzdorná ocel 1.4571, kterou řadíme mezi oceli stabilizované titanem.

Z pohledu svařitelnosti a dalších postupů schvalování je nutné také znát tloušťku materiálu. Výpočet pro tlakovou nádobu je proveden podle ČSN EN 13445-3 a udává sílu pláště 6 mm. Další výpočet ukazuje, že tloušťka dna pro dané zatížení je 10 mm. Tyto a další informace o materiálech mají vliv na svařitelnost a způsoby svařování pařícího kotle. Návrhem technologie svařování kotle se budu dále zabývat s materiálem síly 6 mm.

4.2. Charakteristika materiálu 1.4571

Výše uvedený materiál je ocel chrom-niklová austenitická stabilizovaná molybdenová. Označení podle ČSN EN 10088 zní 1.4571 (X6CrNiMoTi 17-2-2), starší označení je pak 316Ti, ČSN 17 348. Tato ocel je nemagnetická a nekalitelná. Má sklon ke zpevňování za studena při tažení a nevhodnými podmínkami při třískovém obrábění. Dále je odolná ve středně silných kyselinách a loužích, vyjma kyseliny dusičné. Taktéž se vyznačuje odolností vůči mezikrystalové korozi v oblasti tepelného ovlivnění. Maximální teplota použití činí 650 °C. Je svařitelná bez nutnosti žíhání při velkých průvarech. Lze ji zpracovávat stříháním, obráběním a tvářením. Její používání je vhodné na korozně namáhané konstrukce, v prostředí se zvýšenou přítomností chloridů, chemické potrubí, konstrukce v přímořském prostředí, či svařované konstrukce hlubších průvarů.

Rozměr materiálu	Chemické složení oceli 1.4571 (%)											
	C	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	N	Ni	P	S	Si	Ti
6 x 1500 x 6000	0,026	0,1	16,53	0,15	1,12	2,076	0,019	11,09	0,029	0,001	0,5	0,301

Tab. 3 Chemické složení základního materiálu

Mechanické vlastnosti					
Rm (Mpa)	Rp 0,2 (MPa)	Rp 1,0 (MPa)	A50	A5	HRB
594	316	359	48,4	49,3	84,8

Tab. 4 Mechanické vlastnosti základního materiálu

4.3. Volba přídavného materiálu

Pro svařování oceli 1.4571 jsem zvolil přídavný materiál OK AUTROD 316 LSi ve formě drátu, jelikož se domnívám že má nejlepší předpoklady na provedení kvalitního svarového spoje.

Chemické složení přídavného materiálu (%)									
C	Si	Cr	Mn	Ni	Mo	S	P	Cu	N
0,02	0,81	18,7	1,82	12,2	2,7	0,014	0,016	0,13	0,05

Tab. 5 Chemické složení přídavného materiálu

Mechanické vlastnosti svarového kovu				
Zkouška tahem	Teplota °C	Rp _{0,2} N/mm ²	Rm N/mm ²	A5 %
	20	440	620	37
	350	340		
Zkouška rázem	Teplota °C		20	-60
	J		120	95

Tab. 6 Mechanické vlastnosti svarového kovu

4.4. Rozbor svařitelnosti oceli 1.4571

Základní materiál i přídavný materiál jsou již díky vlastnímu chemickému složení a odolné proti MKK a vzniku σ -fáze. Okolnosti vzniku MKK a σ -fáze jsou především teplota a doba výdrže na kritické teplotě. Svařováním a provozními podmínkami nejsou vytvořeny podmínky pro vznik MKK a σ -fáze. Svařitelnost austenitických ocelí je také náchylná na vznik teplých trhlin při svařování. Příčina vzniku těchto trhlin je v obsahu nežádoucích prvků, jako je síra a také ve způsobu krystalizace kovu. Ocel je méně náchylná na vznik teplých trhlin, pokud je krystalizace kovu feritická. Z toho důvodu se doporučuje, aby obsah feritu v austenitické oceli byl v rozsahu 3-15 %.

4.4.1. Rozbor vzniku teplých trhlin základního a přídatného materiálu

Určení výskytu feritu v oceli lze s informativním charakterem před vlastním svařováním zjistit pomocí Schaefflerova diagramu. Nejprve se provedou výpočty ekvivalentů chromu a niklu základního a přídatného materiálu a po dosazení do grafu lze odečíst přibližný procentuelní obsah feritu v oceli.

Základní materiál:

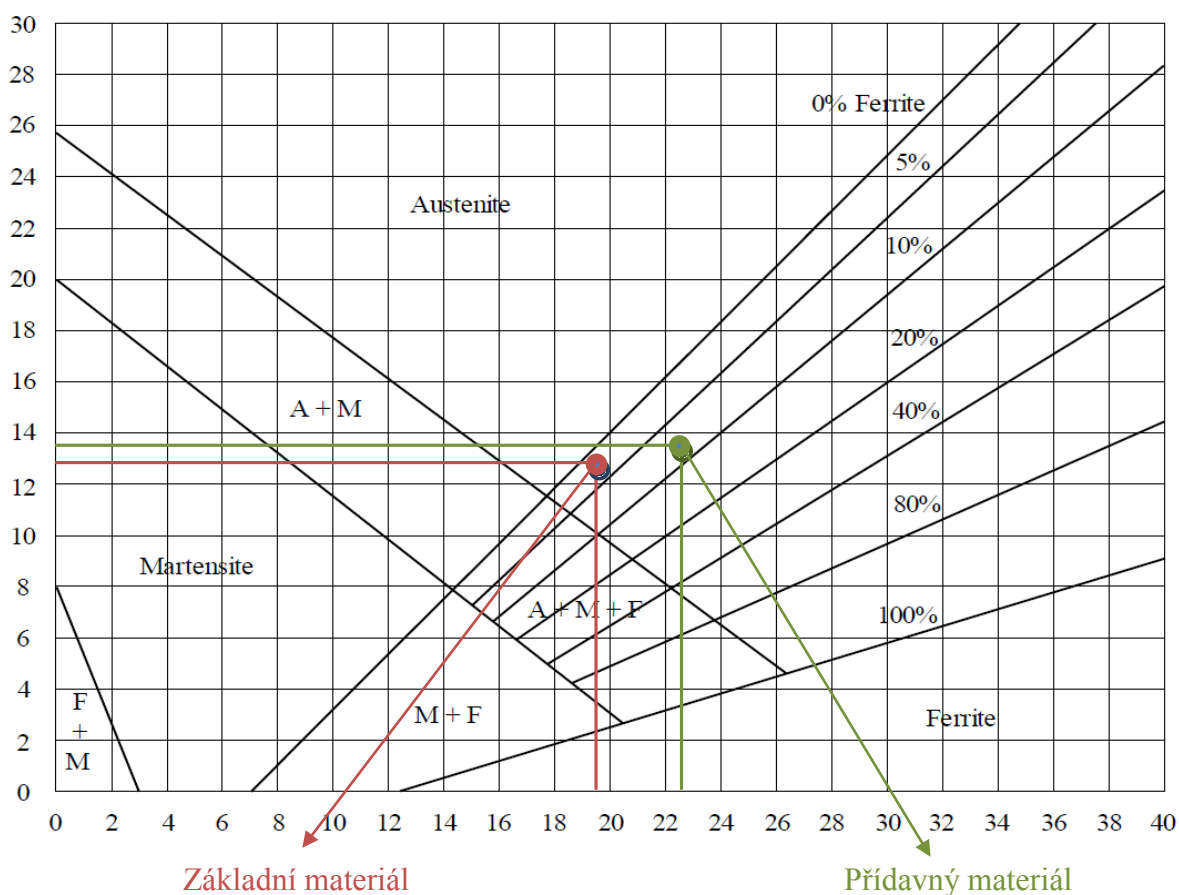
$$Cr_e = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Ti = 16,53 + 2,076 + 0,75 + 0,1505 = \mathbf{19,51 \%}$$

$$Ni_e = Ni + 30 \cdot C + 0,5 \cdot Mn = 11,09 + 0,78 + 0,56 = \mathbf{12,43 \%}$$

Přídatný materiál:

$$Cr_e = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si = 18,7 + 2,7 + 1,215 = \mathbf{22,615 \%}$$

$$Ni_e = Ni + 30 \cdot C + 0,5 \cdot Mn = 12,2 + 0,6 + 0,91 = \mathbf{13,71 \%}$$



Obr. 12 Schaefflerův diagram

Po vynesení příslušných ekvivalentů lze konstatovat, že základní materiál a přídavný materiál se nachází v oblasti s hodnotou feritu 5-10 %, což je příznivé pro zabránění vzniku teplotních trhlin.

Dalším způsobem pro hodnocení náchylnosti oceli na vznik teplotních trhlin může být použití kritéria ΔH . Jestliže výsledek ΔH bude menší jak 100, bude ocel náchylná na vznik teplotních trhlin. Do výpočtu se dosazují hmotnostní obsahy jednotlivých prvků v materiálu.[1]

ΔH základního materiálu:

$$\Delta H = -700 \cdot C + 17 \cdot Cr - 37 \cdot Ni - 117 \cdot Nb + 29 \cdot Mo + 188 =$$

$$\Delta H = -18,2 + 281,01 - 410,33 + 60,204 + 188 = \mathbf{100,684}$$

ΔH přídavného materiálu:

$$\Delta H = -700 \cdot C + 17 \cdot Cr - 37 \cdot Ni + 29 \cdot Mo + 188 =$$

$$\Delta H = -14 + 317,9 - 451,4 + 78,3 + 188 = \mathbf{118,8}$$

Z výsledků kritéria ΔH je patrné, že základní materiál by mohl být náchylný na vznik teplotních trhlin. Na základě provedených výpočtů a pomocí Schaefflerova diagramu základní materiál 1.4571 svařovaný přídavným materiálem OK AUTROD 316 LSi by neměl vykazovat náchylnost na vznik teplotních trhlin při svařování.

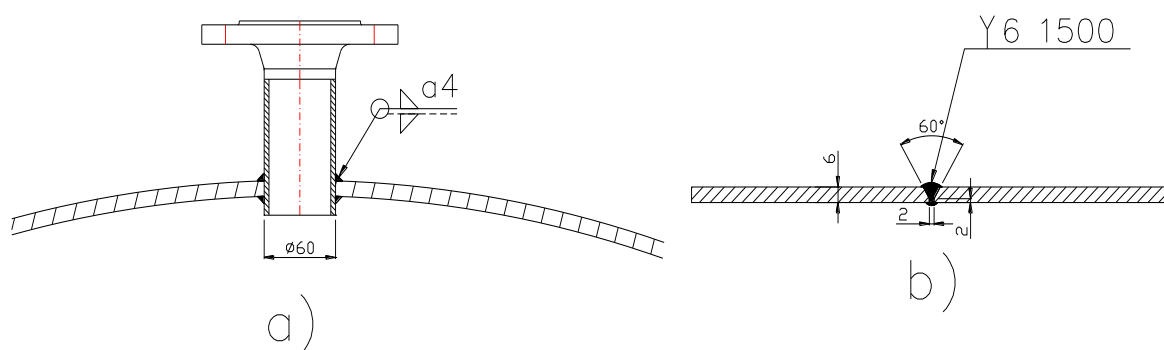
Konečná volba základního a přídavného materiálu se ukazuje jako vhodná pro výrobu a svařování pařícího kotle. Je důležité si uvědomit, že volba materiálu a jeho svaření není ovlivněno jen výše uvedenými jevy, ale také např. schopnostmi svářeče (manuální zručnost), nebo podmínkami obklopujícími místo svařování (průvan, nedostatečné osvětlení) aj.

5. Návrh technologie svařování

Vypracování technické dokumentace ve formě výkresů je základním předpokladem pro výrobu pařícího kotle. Výrobní výkresy by měly z pohledu svařování obsahovat druhy, velikosti a umístění svarů na tlakové nádobě. Dále jsou nezbytně nutné technologické postupy pro výrobu jednotlivých segmentů tlakové nádoby jako je např. zkružování plechů, řezání materiálů a tvorba děr pro vstupy (plasma), příprava svarových ploch, technologický postup svařování formou WPS, konečná úprava svaru (čištění, odmaštění) aj. Pro účely této diplomové práce se budu dále zabývat jen záležitostmi, které se týkají svařování.

5.1. Typy svarů na pařícím kotli

Svary na tlakové nádobě jsou provedeny jako tupé a koutové. Jejich označení a umístění musí být uvedeno na výrobním výkresu. Jako příklad uvedu tupý a koutový spoj a jejich značení. Veškeré svary na tlakové nádobě se budou provádět v poloze PA nebo PB.



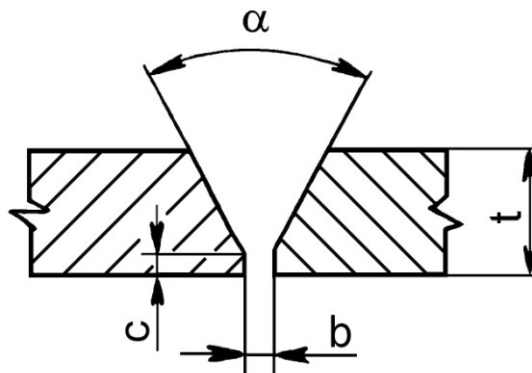
Obr. 13 a) Přírubový koutový spoj, b) Tupý spoj pláště

5.2. Příprava svarových ploch

Svarové plochy musíme připravit s ohledem na tloušťku materiálu, aby bylo provedeno dokonalé provaření materiálu v celém svém průřezu. Návod na přípravu a geometrii svarové plochy poskytuje ČSN EN ISO 9692-1. V mém případě, kdy je použit materiál síly 6 mm, půjde o podložený V svar s otupením (Obr. 14). Příprava svarových ploch se provádí broušením nebo pomocí nástroje jako je úkosovačka. Velmi důležitým

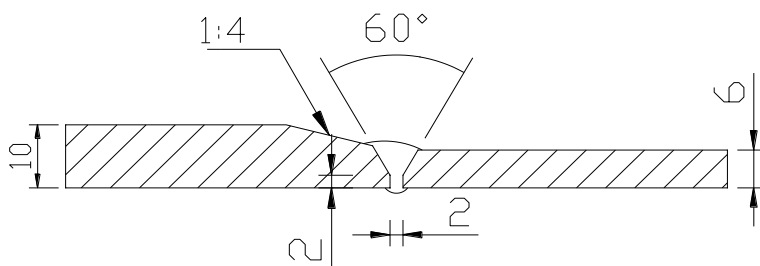
požadavkem je, aby všechny nástroje pro manipulaci a opracování základního materiálu (brusné kotouče, tvářecí nástroje, kartáče) byly výhradně určeny jen na austenitickou ocel. Další požadavky, které je nutné dodržovat, jsou:

- povrchy materiálu musí být suché, bez rzi a jiných oxidů, barvy, tuků, okují
- povrchy a hrany materiálu musí být bez trhlin a vrubů



Obr. 14 Svarová plocha zákl. materiálu, t -tloušťka materiálu, b -mezera, c -otupení, α -úhel rozevření

Jedním z problémů vyskytujících se u svařování pařícího kotle je přivaření dna na konec nádoby. Problém spočívá v tom, že se jedná o dno (DIN 28011), které má tloušťku materiálu 10 mm. Dochází ke spojení materiálů nestejných tlouštěk. To může vést k lokálnímu růstu napětí. Proto se doporučuje, aby provedený svar nebo silnější materiál byl opracován se sklonem 1:4 (Obr. 15).



Obr. 15 Návrh úpravy spoje dna s pláštěm nádoby

5.3. Svařovací zdroj, přídatný materiál, ochranný plyn

Svařování pařícího kotle bude provedeno svařovacím zdrojem Migatronic MIG 445. Tímto zařízením budou také později svařeny zkušební desky pro účel kvalifikace svařování. Jde o univerzální svařovací zdroj pro zkratový i sprchový přenos. Tento svařovací zdroj se vyznačuje těmito parametry:

- čtyřkladkové provedení podávání drátu
- vodou chlazený svařovací hořák
- rychlost podávání drátu do 18 m/min

Technická data	Migatronic MIG 445
Napájení	3 x 400 V
Proudový rozsah	40 - 445 A
Počet napěťových stupňů	24
Rozměry (d x š x v) [cm]	96 x 48 x 85
Váha [kg]	163

Tab. 7 Technická data



Obr. 16 Svařovací zdroj Migatronic MIG 445

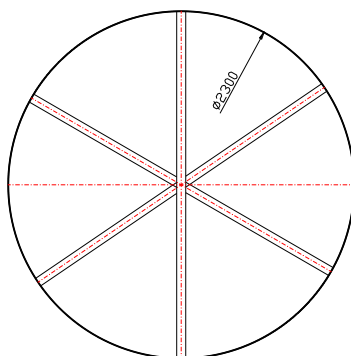
Z výsledků provedení výpočtu náchylnosti na vznik teplých trhlin jsem zvolil jako přídavný materiál OK AUTROD 316 LSi ve formě drátu. Přídavný materiál je použit jako cívka umístěná ve svářečce o hmotnosti 16 kg.

Jako ochranný plyn jsem zvolil směs plynů Ar a CO₂ ve složení: Ar – 97,5%, CO₂ – 2,5 %. Tato směs plynů je vhodná pro svařování austenitických ocelí, kde argon jako netečný plyn poskytuje dokonalou ochranu před účinky okolní atmosféry a nedochází k propalu prvků. CO₂ je zde pro zvýšení tepelných účinků oblouku. Označení této směsi plynů je M12.

5.4. Vlastní provedení svařování PK

Vlastní výroba pařícího kotle se dá charakterizovat v těchto výrobních etapách:

- příprava materiálu před skružením na požadovanou délku (rozvinutý tvar) pomocí technologie stříhání (tabulové nůžky).
- skružení jednotlivých lubů na požadovaný průměr (materiál je v základním tvaru o rozměrech 6 x 1500 x 6000 mm). Je nutné jednotlivé luby vnitřně vyztužit pomocí rozpěrných trubek z důvodu držení tvaru.



Obr. 17 Vyztužení luby rozpěrnými trubkami

- sestavení a sestehování jednotlivých lubů (i se dnem) na požadovanou délku nádoby L=15m.
- provedení svaření, nejprve podélných svarových spojů a poté svarů obvodových. Kotel je z důvodu otáčení umístěn na polohovadlech.
- pálení děr pro vstupy na plášti nádoby pomocí plasmy Migatronix PDX 85.
- nasazení a přivaření jednotlivých přírubových vstupů na plášť nádoby.

- pařící kotel je usazen na prstencových podporách. Navlečení těchto prstenců (+ prstence výztužné) a jejich následné přivaření na plášť nádoby je další operací ve výrobě pařícího kotle.
- čištění svarových spojů pomocí rotačního kartáče.
- přivaření pomocné konzoly pro otevírání dna.
- abychom mohli kotel těsně uzavřít, byl již na lubu přilehlém k otevíracímu dnu a také na dnu samotném přivařeny speciální prstence. Díky nim a ovládací hydraulice je kotel možné hermeticky uzavřít.
- vizuální a rozměrová kontrola – je provedena kontrola shody pařícího kotle po dokončení všech výrobních operací s výrobní dokumentací.
- provedení tlakové zkoušky – hydraulická zkouška. Účelem je prověření pařícího kotle, zda je schopen odolávat tlaku a taky kontrola těsnosti. Jelikož kotel pracuje za mírně zvýšených teplot je doporučen vztah pro výpočet zkušební tlaku:

$$p_t = 1,25 \cdot PS \cdot f_{20} / f_{TS}$$

- PS – nejvyšší dovolený tlak
- TS – nejvyšší dovolená teplota
- f_{20} – dovolené namáhání při teplotě 20 °C
- f_{TS} – dovolené namáhání při teplotě TS

6. Návrh a provedení kvalifikace postupu svařování pařícího kotle

Výrobní organizace vyrábějící pařící kotel musí mít zavedenou kvalifikaci a oprávnění pro výroby tlakových nádob. Jde o soubor mnoha požadavků, které musí výrobce provádět a dodržovat. Mezi ty konstrukce, na které jsou kladeny vyšší nároky (výroba, bezpečnost), můžeme zařadit např. mosty, jeřáby, výtahy aj. Svařování je proces spojování materiálů, kde konečný výsledek nelze plně ověřit kontrolou a zkoušením.[5]

6.1. Kvalifikace a oprávnění výrobce – základní požadavky

- Průkaz způsobilosti – opravňuje výrobce provádět výrobu, montáž, opravy, repase, rekonstrukce tlakových zařízení.
- zavedený a certifikovaný systém svařování (ČSN EN ISO 3834 1-6).
- kvalifikace personálu – projektant, konstruktér, svářečský dozor (EWE, EWT), svářeči.
- zpracování dokumentací k tomuto výrobku – projekční, konstrukční, výpočtová, výrobní, kontrolní, zkušební, prohlášení o shodě aj.
- kvalifikované postupy výroby a svařování (WPQR, WPS).

Dále se zaměřím jen na kvalifikaci postupu svařování.

6.2. Požadavky na svářeče

Svary na tlakové nádobě musí provádět jen ti pracovníci (svářeči), kteří mají vykonanou úřední zkoušku podle ČSN EN 287-1. Ta opravňuje svářeče provádět svařování na konkrétním materiálu při použití konkrétní metody svařování.

Kvalifikace svářeče pro svařování pařícího kotle:

- EN 287-1 135 P BW 8 S t10 PF ss nb

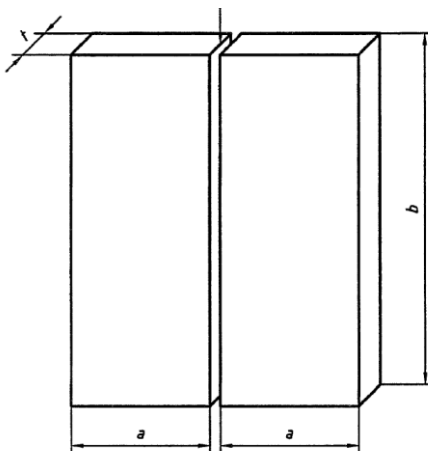
			Rozsah kvalifikace
135	Metoda svařování	MAG	135/136 (jen M)
P	Plech		P, T: D \geq 150 mm
BW	Tupý svar		BW, FW
8	Materiálová skupina podle CR ISO 15608	Materiálová skupina 8: Austenitické nerezové oceli	8, 9.2, 9.3, 10
S	Přídavný materiál	Plný drát	
t10	Tloušťka	Tloušťka materiálu t=10mm	\geq 3 mm
PF	Poloha svařování	Tupý svar na plechu, poloha svislá nahoru	PA, PB, PD, PE, PF
ss nb	Detail provedení svaru	jednostranné svařování bez podložení vícevrstvý	ss nb, ss mb, bs pro FW: sl, ml

Tab. 8 Vysvětlení značení pro kvalifikaci svářeče

6.3. Příprava procesu schválení postupu svařování

Proces schválení postupu svařování pařícího kotle se bude provádět podle normy ČSN EN ISO 15614 – 1. Schvalovací proces spočívá ve svaření zkušebního kusu. Zkušební kus je svařován podle předepsaného postupu svařování tzv. „pWPS“ – předběžná specifikace postupu svařování. Na svařeném vzorku se vykonají potřebné zkoušky a jejich kladný výsledek říká to, že daný postup je správný a je tedy možné tímto svařovacím postupem vyrobit tlakovou nádobu (pařící kotel).

Rozměry zkušebního kusu jsou:



Obr. 18 Příprava zkušebního kusu

$a = \min 150 \text{ mm}$, $b = \min 350 \text{ mm}$, $t = 10$

Svarová plocha je připravena v souladu s pWPS.

Zkušební kus		Rozsah kvalifikace
Metoda svařování	135	135
Materiál (skupina)	8 svařovaná s 8	zahrnuje oceli ve stejné podskupině
Poloha svařování	PA	svařování ve všech polohách
Tloušťka materiálu	t=10	3 < t ≤ 12
Typ spoje	tupý, BW	BW, FW
Ochranný plyn	Ar 97,5%, CO ₂ 2,5%	M12
Přídavný materiál	OK AUTROD 316 Lsi	OK AUTROD 316 Lsi

Tab. 9 Základní parametry pro kvalifikaci svařování

6.4. Rozsah zkoušení zkušebních kusů

Zkušební kus byl svařen podle parametrů uvedených v pWPS. Zkoušení svařeného zkušebního vzorku zahrnuje nedestruktivní i destruktivní zkoušení. Svařený vzorek z austenitického materiálu zařazeného do skupiny 8.1 opravňuje k vykonání těchto zkoušek:

Druh zkoušky	Rozsah zkoušení
Vizuální kontrola	100%
Radiografická zkouška	100%
Zkouška na povrchové trhliny	100%
Příčná zkouška tahem	2 vzorky
Příčná zkouška lámavosti	4 vzorky
Zkouška makrostruktury	1 vzorek

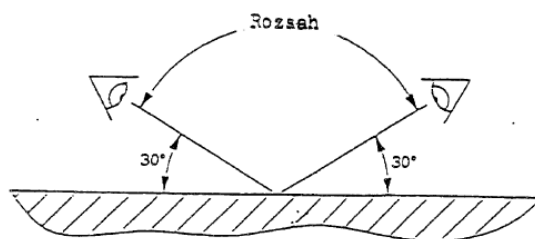
Tab. 10 Rozsah zkoušek na zkušebním kusu

7. Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek

7.1. Vizuální kontrola (VT)

Po skončení svaření zkušebních desek byla provedena 100 % vizuální kontrola povrchu svaru zkušebního kusu. Vizuální kontrola je provedena podle ČSN EN 970. Kritérium přípustnosti vad je určeno podle ČSN EN ISO 5817 ve stupni jakosti B. Provedení vizuální kontroly je provedeno za těchto podmínek a pomocí těchto prostředků:

- lupa se 4x zvětšením
- svarové měrky
- dostatečné osvětlení – intenzita 350 - 500 luxů



a)



b)

Obr. 19 a) Přístupnost zkoušky, b) svarová měrka pro měření velikosti převýšení tupých spojů

Kontrolovány jsou následující vlastnosti:

- tvar a rozměry svaru – profil povrchu, velikost převýšení, kresba svaru
- zápaly, trhliny, nepravidelnosti, bubliny, póry a příp. odstranění dočasně přivařených pomocných součástí

V našem případě nebyl zkoušením vizuální kontrolou prokázán výskyt nevyhovujících vad. Na vizuální zkoušku je vyhotoven protokol.

7.2. Zkouška na povrchové trhliny, kapilární metoda (PT)

Na zkušební desce byla provedena na svarovém spoji 100 % kapilární zkouška a to podle ČSN EN 571-1. Použitím této zkoušky se zjišťují povrchové vady svaru.

Princip metody:

Metoda pracuje na fyzikálním principu kapilární elevace, přičemž základní vlivy na výsledný efekt má především povrchové napětí a viskozita kapaliny. Na očištěný povrch svarového spoje se nanese vhodná kapilární kapalina - penetrant (nízké povrchové napětí), která vniká do povrchových vad. Po určité době působení se zbytku penetrantu odstraní. Dále se nanese vývojka, která absorbuje penetrant, který zůstal ve vadách a po určité době se vytvoří barevné indikace.

Postup zkoušky:

- odstranění nečistot (okuje, rez, nátěry) z povrchu svaru mechanickým nebo chemickým čištěním
- nanesení penetrantu – stříkání, polévání, nátěr
- penetrační čas – 5-30 min.
- odstranění zbytků penetrantu – vhodné čisticí prostředky (voda, rozpouštědla)
- nanesení vývojky – rovnoměrně na povrch svaru
- vyvíjecí čas – 10-30 min.
- vyhodnocení – při rozptýleném světle (denní) o intenzitě min. 500 luxů
- záznam indikací do dokumentace

Použité přípravky:

- penetrant – MR chemie – MR 68 – sprej
- vývojka – MR 69 – textil
- čistič – MR 70 – sprej

Vyhodnocení zkoušky:

Na provedení svaru se neprojevíly výrazné povrchové vady. Hodnocení bylo provedeno podle ČSN EN ISO 23277 s výsledkem 2X. Na zkoušku je vyhotoven protokol.

7.3. Radiografická zkouška

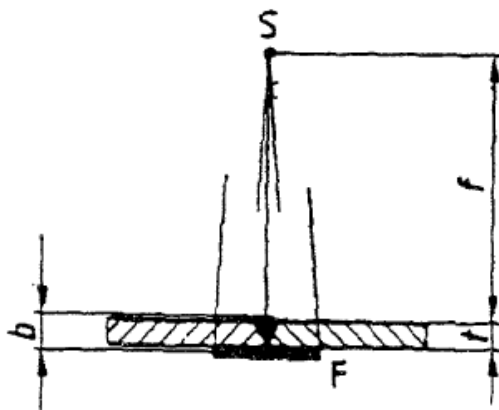
Zkušební deska byla podrobena 100 % radiografické zkoušce podle ČSN EN 1435. Zkouška je provedena za účelem zjištění vnitřních vad svarového spoje (bubliny, plynové dutiny, vměstky, trhliny).

Princip metody:

Spočívá v zachycení účinku prošlého rentgenového záření ($\lambda=10^{-11} - 10^{-9}$ m) svařeným zkušebním kusem na speciální fotografický film. Jestliže záření prochází materiálem, jeho intenzita se zmenšuje v závislosti na tloušťce a chemickém složení materiálu. Výsledkem je získání radiogramu, na kterém jsou vady rozlišeny rozdíly jasu.

Postup zkoušky:

- úprava povrchu svaru – odstranění hrubých nečistot, rozstříku svarového kovu a jiných nepravidelností
- expoziční uspořádání – svazek paprsku musí směřovat na střed zkoušené desky a musí být kolmý k povrchu.



Obr. 20 Expoziční uspořádání, S-zdroj záření, f-vzdálenost zdroj-materiál, t-tloušťka materiálu, b-vzdálenost materiál-film, F-film

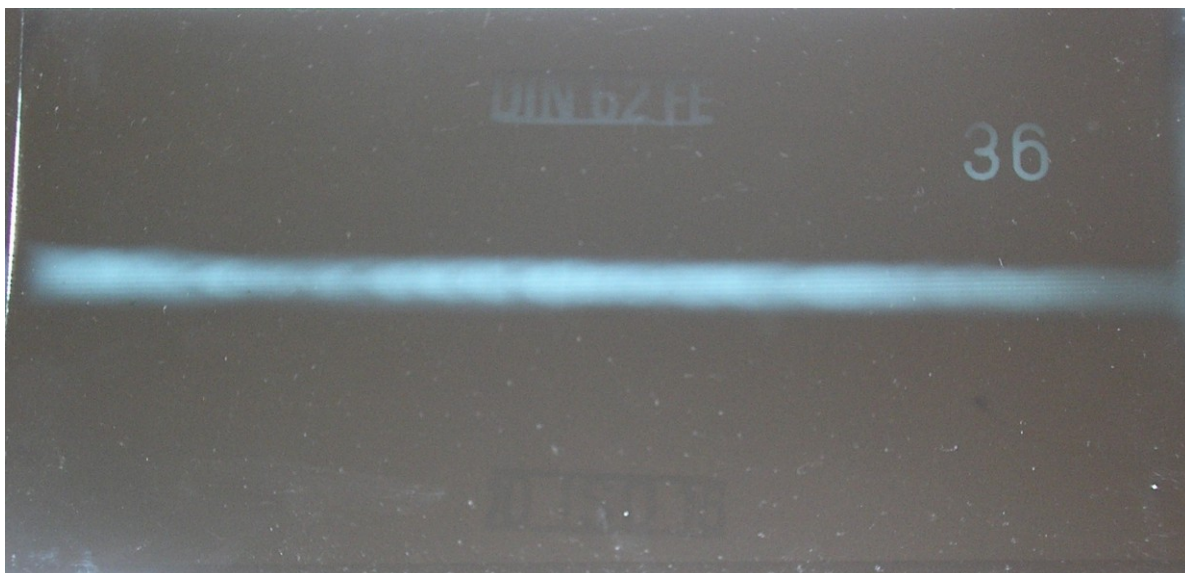
- značení a identifikace zkoušky – zkušební kus je před zkouškou označen značkou (číslice, písmeno) pro zajištění přesné identifikace
- jakost obrazu – je zajištěna radiografickými měrkami (drátkové měrky), které se umísťují do oblasti radiogramu
- zpracování exponovaného filmu

Technické údaje:

- zdroj záření – RTG přístroj BALTEAU 200
- vzdálenost $f = 450$ mm
- film – D5 AGFA – rozměr 24 x 10 cm

Vyhodnocení zkoušky:

Vyhodnocení zkoušky je provedeno podle ČSN EN 12517-1. Přípustnost vad je určena stupněm 1. Radiografická kontrola neprokázala žádné vady nevyhovující stupni 1. Je vyhotoven protokol o radiografické zkoušce.



Obr. 21 Radiografický snímek svaru na pařícím kotli

8. Vyhodnocení destruktivních zkoušek

8.1. Zkouška makrostruktury

Princip zkoušky:

Zkouška makrostruktury byla provedena podle ČSN EN 1321 za účelem stanovení makroskopického charakteru svarového spoje. Nejčastěji je kontrola provedena na vzorku odebraného ze svařené zkušební desky. Vzorek je obvykle odebrán příčně k ose svaru. Makrostruktura svarového spoje musí ukazovat kompletní svar a kompletní TOO. Vady, které může makroskopická kontrola odhalit, jsou např.:

- trhliny za tepla, za studena
- dutiny, vměstky
- studený spoj, neprůvar
- TOO
- úprava spoje

Postup zkoušky:

- příprava zkušebního vzorku – řezání, broušení, leštění
- leptání zkušebního vzorku – potírání, ponoření
 - leptadlo – Mardlovo činidlo – $\text{CuSO}_4 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$
- vyhodnocení

Vyhodnocení zkoušky:

Makrostruktura svarového kovu neprokázala přítomnost vad, které by výrazně snižovaly jakost svarového spoje. Je vyhotoven protokol o provedení makroskopické kontroly.



Obr. 22 Makrostruktura svarového spoje

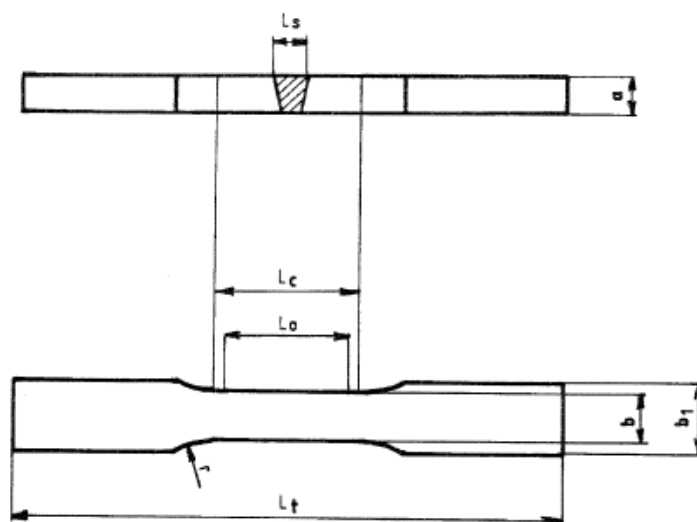
8.2. Příčná zkouška tahem

Princip zkoušky:

Provedení proběhlo podle ČSN EN 895. Princip zkoušky spočívá v deformaci zkušební tělesa tahovým zatížením, obvykle až do lomu, za účelem stanovení jedné nebo více mechanických vlastností, v mém případě podle ČSN EN ISO 15614-1 meze pevnosti. Výsledná mez pevnosti po zkoušce nesmí být nižší, než je mez pevnosti základního materiálu.

Postup zkoušky:

- odběr zkušební vzorku – vzorek je odebrán příčně ze svařené zkušební desky tak, aby po opracování zůstala osa svaru ve středu zkoušené délky zkušební tyče.



Obr. 23 Zkušební tyč pro plechy

- rozměry zkušební tyče:
 - a – tloušťka materiálu
 - b – šířka zkušební tyče
 - b₁ – šířka hlavy upínacího konce
 - L_o – počáteční délka – $L_o = 5,65 \cdot \sqrt{S_o}$ (L_o min = 15 mm)
 - S_o – počáteční průřezová plocha
 - L_c – zkoušená délka
 - L_t – celková délka zkušební tyče
 - L_s – největší šířka svaru po opracování
- postupné zatěžování zkušební tyče až do úplného přerušení

Vyhodnocení zkoušky:

Rozměr vzorku	R_m po zkoušce [MPa]	R_m zákl. mat. [MPa]	Místo porušení	Výsledek zkoušky
6,0 x 25,1	623,5	607	mimo svar	Vyhovuje
6,0 x 25	617,3		mimo svar	Vyhovuje

Tab. 11 Výsledek tahové zkoušky

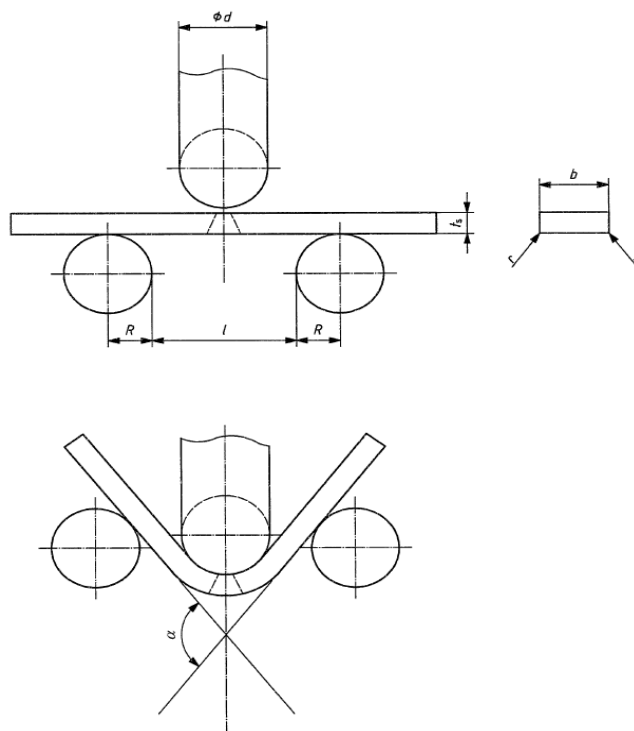
Po provedení zkoušky je vyhotoven protokol o příčné zkoušce tahem.

8.3. Zkouška ohybem

Ze svařené zkušební desky byly odebrány 4ks zkušebních vzorků, na kterých byla provedena zkouška ohybem podle ČSN EN ISO 5173. Z toho byla na 2 ks provedena zkouška ohybem z lící strany svaru TFBB a na 2 ks ze strany kořene svaru TRBB.

Princip zkoušky:

Zkoušku zkoumá plastické vlastnosti svarového spoje. Zkušební vzorek je položen na podpěrné válečky se svarem ve středu vzdálenosti mezi nimi. Zkušební tyč je postupně a plynule zatěžována.

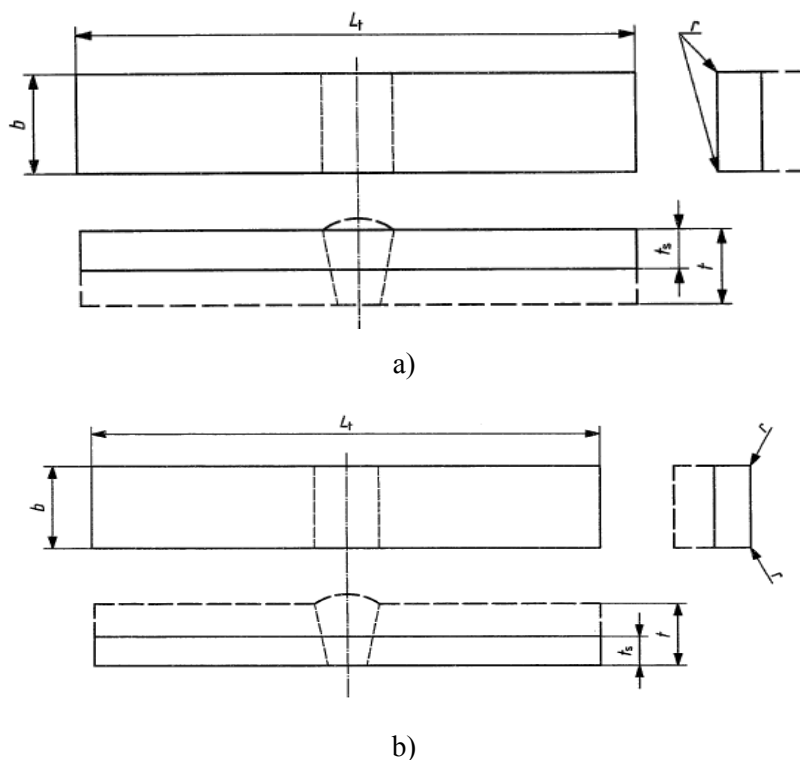


Obr. 24 Princip zkoušky ohybem

d – průměr ohýbacího trnu, l – vzdálenost podpěrných válečků, t_s – tloušťka zkušební tyče, b – šířka zkušební tyče, r – poloměr hran, α – úhel ohybu

Postup zkoušky:

- zkušební tyč – ze zkušebního kusu jsou odebrány vzorky napříč svarovým spojem. Povrch zkušební tyče je mechanicky opracován tak, aby byly odstraněny všechny převýšení svarového kovu.



Obr. 25 Tyč pro příčnou zkoušku ohybem, a) Lícní zkouška

b) Zkouška ze strany kořene

- rozměry zkušební tyče:
 - L_t – délka zkušební tyče – $L_t = 120 \text{ mm}$
 - t_s – tloušťka zkušebního kusu (jako zákl. materiál) – $t_s = 6 \text{ mm}$
 - b – šířka – $b = 4 \times t_s$ (i větší), $b = 25 \text{ mm}$
 - l – vzdálenost podpěrných válečků odpovídá vztahu $d + t_s + l \leq l + t_s$
 $l = 40 \text{ mm}$
 - d – průměr trnu – $d = 4 \times t_s = 24 \text{ mm}$
 - r – poloměr zaoblení hran – $0,2 \times t_s$ až max. 3 mm

Vyhodnocení zkoušky:

Zkouška je ukončena pokud je úhel ohybu $\alpha=180^\circ$ (tyč je vyjmuta z přípravku). V průběhu zkoušky se nesmí vyskytnout žádná vada v jakémkoli směru větší než 3 mm . Výsledky zkoušky jsou opatřeny protokolem.

9. Závěr

Nároky na výrobu tlakových nádob jsou velmi vysoké. Zejména jde o jejich bezpečné používání dodržováním předepsaných instrukcí a při samotné výrobě se klade nejvyšší důraz na spojování jednotlivých segmentů, trubek aj. svařováním. Na provoz tlakových nádob jsou kladeny stále větší nároky také tím, že se používají vyšší pracovní teploty a různé chemické látky podněcující korozi materiálu.

Výše pojmenované důvody vyvíjejí nátlak na výzkum stále nových materiálů, které odolávají těmto vlivům. Tyto nové materiály jsou sice odolné, ale při jejich svařování může docházet k jistým omezením svařitelnosti. Proto je nutné dodržovat schválené svařovací postupy s ohledem na používané materiály.

V diplomové práci jsem se zabýval svařitelností materiálu pro výrobu pařícího kotle. Jako materiál pro výrobu byla zvolena austenitická nerezová ocel, která má při svařování svá specifika. V jednotlivých částech kapitol jsem se snažil provést rozbor svařitelnosti a vlivy ovlivňující svařitelnost tohoto materiálu. Taktéž byla provedena studie navržené metody svařování pro výrobu pařícího kotle.

Dalším úkolem bylo posoudit, zda volba základního a přídatného materiálu dle konkrétních technických listů (atestů) je vhodná pro výrobu pařícího kotle z pohledu svařitelnosti. Dospěl jsem k závěru, že materiály splňují základní požadavky na výrobu pařícího kotle a jeho svařování.

V poslední části jsem provedl návrh na certifikaci procesu svařování. Tento postup certifikace se skládá z jednotlivých kroků odvislých od druhu základního materiálu a jeho tloušťky. V závislosti na dodržení postupu jsem navrhl a provedl ty zkoušky nutné pro kvalifikaci a certifikaci postupu svařování. Splněním všech požadavků na vyhodnocení zkoušek, certifikační organizace vystavuje protokol WPQR, který schvaluje daný proces svařování. Tento protokol opravňuje výrobce použít zvolený svařovaný postup již přímo ve výrobě vystavením výrobních WPS.

Výsledkem této diplomové práce je tedy zhodnocení svařitelnosti materiálu, volba metody svařování a návrh na provedení certifikace postupu svařování.

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Drahomíru Schwarzovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

10. Literatura

- [1] KOUKAL, Jaroslav; SCHWARZ, Drahomír; HAJDÍK, Jiří. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1. vyd. Ostrava : Český svářečský ústav s.r.o., VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [2] ČÍHAL, Vladimír. *Mezikrystalová koroze ocelí a slitin*. Vydání třetí. Praha : SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1984. 360 s.
- [3] KUNCIPÁL, Josef, et al. *Teorie Svařování*. Praha : SNTL, 1986. 255 s.
- [4] KOLEKTIV AUTORŮ. *Technologie svařování a zařízení*. Ostrava: Zeross – svářečské nakladatelství. 2000. 395 s.
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ. *Nové přístupy a aplikace EU směrnic, eurokódů I EN, ISO norem pro konstrukce stanovených výrobků a technických zařízení*. Brno : TDS Brno – SMS, s.r.o., březen 2010. 626 s. ISBN 978-80-87102-05-3.
- [6] DZURENDA, Ladislav. *Technologický postup plastifikácie mokrých bukových prírezov sýtou parou pri teplote 104-128°C*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 1998. 10 s.
- [7] SAMEK, Ernest; STRINKA, Rudolf. *Zváranie v ochrannej atmosfére taviacou sa elektrodou* [online]. Bratislava : ALFA, 1989 [cit. 2011-03-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.uloz.to/7513605/samek-zvaranie-v-ochrannej-atmosfere-taviacou-sa-elektrodou-mig-mag-clearscan-kroms-pdf>>.
- [8] BARTÁK, Jiří, et al. *Svařování kovů v praxi*. Praha : VERLAG DASHÖFER, nakladatelství s.r.o., 2008. 899 s. ISSN 1803-2834.
- [9] ČSN EN 1011-3. *Svařování-Doporučení pro svařování kovových materiálů-Část 3: Obloukové svařování korozivzdorných ocelí*. Praha : ČNI, 2002. 24 s.
- [10] ČSN EN ISO 14175. *Svařovací materiály - Plyny a jejich směsi pro tavné svařování a příbuzné procesy*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 12s.
- [11] ČSN EN 1011-1. *Svařování-Doporučení pro svařování kovových materiálů-Část 1: Všeobecná směrnice pro obloukové svařování*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 16s.
- [12] ČSN EN ISO 9692-1. *Svařování a příbuzné procesy – Doporučení pro přípravu svarových spojů – Část 1*. Praha. ČNI, 2004. 24 s.
- [13] ČSN EN ISO 15607. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Všeobecná pravidla*. Praha : ČNI, 2004. 20 s.

- [14] ČSN EN ISO 15614-1. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování – Část 1: Obloukové a plamenové svařování ocelí a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Praha : ČNI, 2005. 32 s.
- [15] CHVÁTALOVÁ, Květuše. *Výpočty celkové energie uspořádaných struktur v soustavách tranzitních kovů z prvních principů* [online]. Brno, 2007. 96 s. Dizertační práce. Masarykova univerzita. Dostupné z WWW: < is.muni.cz/th/75834/prif_d/Disertacni_prace-Chvatalova_Kvetuse.pdf >.
- [16] ŠURÝN, Michal. *Svařování rámu dveří pekařských pecí* [online]. Brno, 2009. 79 s. Diplomová práce. VUT Brno. Dostupné z WWW: <www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17054>.
- [17] *Euro Inox* [online]. 2011 [cit. 2011-04-10]. Koroziivzdorné oceli - vlastnosti. Dostupné z WWW: <http://www.euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf>. ISBN 2-87997-082-2.
- [18] *ESAB* [online]. 2011 [cit. 2011-04-17]. OK Autrod 316 LSi. Dostupné z WWW: <<http://products.esab.com/Templates/T041.asp?id=134221>>.
- [19] MARTÍNKOVÁ, Jana. *Vliv delta feritu na mechanické vlastnosti ocelí a metody stanovení jeho obsahu* [online]. Plzeň, 2010. 8 s. Seminární práce. Západočeská univerzita v Plzni. Dostupné z WWW: <old.fst.zcu.cz/_files_web_FST/_SP.../Martinkova_Jana.pdf>.
- [20] ČSN EN 13445. Část 1-5. *Netopené tlakové nádoby*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [21] ČSN EN 970. *Vizuální kontrola svarů*. Praha : ČNI, 1998. 16 s.
- [22] [Http://metalurgie-oceli.webz.cz/](http://metalurgie-oceli.webz.cz/) [online]. 2011 [cit. 2011-04-15]. Výroba legovaných ocelí. Dostupné z WWW: <http://metalurgie-oceli.webz.cz/2_10_2.html>.
- [23] ČSN ISO 857. *Metody svařování, tvrdého a měkkého pájení – slovník*. Praha : ČNI, 1996, 40 s.
- [24] KUBÍČEK, Jaroslav. [Http://ust.fme.vutbr.cz](http://ust.fme.vutbr.cz) [online]. 2006 [cit. 2011-04-20]. Technologie II část svařování. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_2_svarovani/technologie_2_svarovani_tavne.doc>.
- [25] ČSN EN 287-1. *Zkoušky svářečů - Tavné svařování - Část 1: Oceli*. Praha : ČNI, 2004, 40 s.
- [26] ČSN EN 571-1. *Kapilární zkouška – Část 1: Obecné zásady*. Praha : ČNI, 1998, 16 s.
- [27] ČSN EN 1435. *Radiografické zkoušení svarových spojů*. Praha : ČNI, 1999, 36 s.

- [28] ČSN EN 1321. *Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. Praha : ČNI, 1998, 12 s.
- [29] ČSN EN 895. *Příčná zkouška tahem*. Praha : ČNI, 1997, 16 s.
- [30] ČSN EN ISO 5173. *Zkoušky ohybem*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2010. 24 s.

11. Přílohy

Příloha 1	Výkres pařícího kotle PK 2,3 x 15
Příloha 2	Atest základního materiálu 1.4571
Příloha 3	Atest přídavného materiálu OK AUTROD 316 LSi
Příloha 4	Protokoly zkoušek
Příloha 5	WPQR protokol
Příloha 6	WPS protokol